水頭症の内視鏡手術に必要な解剖と知識

西山 健一¹⁾, 藤井 幸彦¹⁾

1) 新潟大学脳研究所脳神経外科

Surgical Anatomy for Endoscopic Surgery in Hydrocephalus

Kenichi Nishiyama, M.D.¹⁾, and Yukihiro Fujii, M.D.¹⁾

1) Department of Neurosurgery, Brain Research Institute, University of Niigata

This article describes the surgical anatomy for various endoscopic procedures to deal with a variety of cerebrospinal fluid pathway obstructions. The procedures are roughly classified into two tasks: the creation of a bypass into the cisterns and the restoration of the obstructed cerebrospinal fluid pathway. A thorough knowledge of the structure and vasculature in the cistern is required for the success of the former and neural fiber and nucleus under the ventricle should be ascertained for the latter. Usually third ventriculostomy is performed behind the clivus, halfway between the infundibular recess and mammillary bodies in the midline. Both the interpeduncular and prepontine cisterns should be inspected through the ventriculostomy with perforation of two leaves of Liliequist's membrane. In temporal ventriculostomy, blunt perforation should be done at the tip of the inferior horn, laterally from the choroidal fissure line to avoid injuring the anterior choroidal artery. In aqueductoplasty, gentle inflation of the balloon to perforate the obstructive membrane is required in order to protect the oculomotor nucleus, medial longitudinal fasciculus and trochlear nerve fiber seated close to the ependymal layer. Finally, because anatomical variations are sometimes observed in cases with hydrocephalus, preoperative high resolution MR-images are essential prior to performing these procedures.

(Received December 25, 2012; accepted January 11, 2013)

Key words : hydrocephalus, neuroendoscope, third ventriculostomy, aqueduct, Liliequist's membrane
Jpn J Neurosurg (Tokyo) 22 : 349-356, 2013

はじめに

1980年代後半、光学系機器の進歩に伴い脳室鏡とその周辺機器の開発が進み、内視鏡下第三脳室底開窓術 (endoscopic third ventriculostomy: ETV) がシャントと並ぶ水頭症治療の術式として認知されるに至った。以後、水頭症および関連する嚢胞性疾患に対し、髄液循環路を作成する各種脳室鏡手術が考案されている。ここで術式は“脳室-脳槽短絡術”と“脳室内閉塞機転の解除”に大別され、前者では脳槽の構造と走行する血管構築の、後者では脳室壁直下の神経路と神経核の位置を把握して

おくことが必須である。また、特に本邦で頻用される軟性鏡操作では、その自由度の高さゆえに上下・左右のオリエンテーションを失いやすい。そこで鏡視下の臨床解剖を熟知して、いくつかのランドマークを覚えておくことが肝要となる。

本稿では、脳室-脳槽短絡術として ETV, 側脳室下角-脳槽短絡 (temporal ventriculostomy), 四丘体槽くも膜嚢胞 (quadrigeminal cistern arachnoid cyst) の手術, 脳室内閉塞解除として内視鏡下中脳水道形成術 (endoscopic aqueductoplasty: EAP) で必要とされる内視鏡外科解剖とおのおののアプローチについて解説する。

連絡先: 西山健一, 〒951-8585 新潟市中央区旭町通一番町 757 新潟大学脳研究所脳神経外科

Address reprint requests to: Kenichi Nishiyama, M.D., Department of Neurosurgery, Brain Research Institute, University of Niigata, 1-757 Asahimachidori, Chuo-ku, Niigata-shi, Niigata 951-8585, Japan

Fig. 1 An endoscopic image from the right anterior horn

Fig. 2 An endoscopic image of the third ventricular floor

The center of the triangle formed by the infundibular recess and the bilateral mammillary bodies is the ETV landmark.

Third ventriculostomy

① 手技と脳室内のランドマーク

ETV は側脳室前角から脳室鏡をアプローチする標準術式である。左右いずれかの前頭葉を経由して前角に至ると、通常まずモンロー孔、前中隔静脈 (anterior septal vein)、視床線条体静脈 (thalamostriate vein)、脈絡叢、上脈絡叢静脈 (superior choroidal vein)、透明中隔が観察される (Fig. 1)。モンロー孔は脈絡叢を前方にたどり前中隔静脈、視床線条体静脈、上脈絡叢静脈が合流する部位に確認できる。正常では前後径で約 3.5 mm 程度の卵円形を呈し、その前内方には脳梁が白色調を帯びた弓状の高まりとして観察される。モンロー孔の内側面を経て脈絡叢のさらに内側には脳弓が存在し、脈絡叢の外側には視床が緩やかな隆起をもって認められる。モンロー孔を経由して第三脳室に到達するとその底部に一对の乳頭体 (mammillary body)、下垂体へ続く赤色を呈した漏斗陥凹 (infundibular recess) とその前方の視神経交叉 (optic chiasm) を、さらにその前方に薄い終板 (lamina terminalis) を観察することができる¹⁷⁾。視交叉から乳頭体までの距離は約 6.0 mm 程度で、ここに ETV で穿孔すべき灰白隆起 (tuber cinereum) を認める。比較的長期に経過した水頭症状態では、乳頭体は明確に分かれ半円状となり、灰白隆起は薄く透明化している。ETV では“両側乳頭体と漏斗陥凹とを結ぶ三角形の中心” (Fig. 2) を目印として、灰白隆起へ開窓するのが基本である¹⁷⁾¹⁸⁾。加えて第三脳室底直下の Liliequist's membrane も穿孔し、“to and fro movement”により第三脳室底の上下運動が出現するか否かで開窓の正否を術中判断できる。乳頭体の後方は中脳被蓋 (tectum) を形成し中脳水道までならかな斜面状となり、その後上方には後交連 (poste-

rior commissure)、松果体陥凹 (pineal recess)、手綱交連 (habenular commissure)さらには中間帆 (velum interpositum)まで確認できる¹⁷⁾。

② 脚間槽

長期に経過した水頭症状態では第三脳室底が菲薄化し、脚間槽 (interpeduncular cistern) 内の構造が透見可能であるが、直下の構造がまったく見えない状況で穿孔することもあり。脚間槽は矢状断像で捉えると、上下を二葉の Liliequist's membrane で境されている。鞍背から両側乳頭体に向かう diencephalic leaf と、脳底動脈前面に向かい脚間槽前壁および prepontine ligament を構成していく mesencephalic leaf がそれであり、特に前者は第三脳室底の穿孔時に同時穿破が必須な膜構造である。また両外側は diencephalic-mesencephalic leaves に囲まれる²⁾⁵⁾²¹⁾。矢状断で diencephalic leaf の下後方に脳底動脈頂部は位置し、後有孔質 (posterior perforated substance) に穿通する各種動脈 (posterior thalamo-perforating branch, paramedian thalamic artery, superior and inferior paramedian mesencephalic artery) が分岐する (Fig. 3)。脳底動脈を含めこれら穿通動脈の損傷は厳に注意しなければならない¹³⁾¹⁴⁾¹⁸⁾。また両外側では後交通動脈から分岐する pre-mammillary artery を認め、同血管の走行が ETV の径を制限する因子の一つになる。

一方 mesencephalic leaf は通常脳底動脈前壁に付着して、そのまま cerebello-pontine membrane に連続する²⁾²¹⁾。外側で側頭葉内側壁に付着し、小脳テントの自

Fig. 3 Sagittal section pattern of the interpeduncular cistern

- A** : Perforating arteries toward the midbrain from the top of the basilar artery and posterior cerebral artery (arrow) were revealed under the diencephalic leaf of Liliequist's membrane.
B : An illustration of the diencephalic leaf (arrow head) and the mesencephalic leaf (arrow) of Liliequist's membrane. (modified from ref. 8)

由縁との間には隙間がある。脆弱で網状を呈する膜のことが多いが、まれに強く肥厚していたり、多層構造を呈するような症例 (**Fig. 4**) もある¹⁾。このような症例では mesencephalic leaf も穿破し、prepontine cistern まで髄液路を確保することで ETV が奏効することがある³⁾⁶⁾ので、術前 MRI における CISS 画像の取得と解剖構造の詳細な観察が肝要である。

③ 脊髄膜瘤に伴う水頭症

脊髄膜瘤患者の多くは先天性水頭症を合併し、ETV の適応になることがある。この水頭症はキアリ奇形をはじめとする“pan-CNS anomaly”の結果⁹⁾であり、脳室系にもさまざまな構造異常を伴う。側脳室前角からアプローチすると、狭小化してスリット状になったモンロー孔を認めることが多い (**Fig. 5A**)。脈絡叢の陰に隠れて同定困難なこともある。しかしモンロー孔は閉塞しておらず、径 3.0 mm 弱の神経内視鏡の通過は容易に可能である。第三脳室を観察すると、その横径は狭小化し大きな視床間橋 (massa intermedia) を合併する。第三脳室底部は菲薄化に乏しいことも多く、灰白隆起部に第三脳室底を横断するような襞状隆起を認める (**Fig. 5B**)。脚間槽には幾重にも重なった厚い膜様構造を認めることが多い。ETV では襞状隆起の直上を穿孔して、脚間槽の膜様構造を完全に穿破することで“to and fro movement”が得られる¹¹⁾¹²⁾。

中脳水道を観察してみると、入口部はスリット状を呈しており、神経内視鏡先端部から洗浄用のリングル液を流出して水圧をかけることで、この入口部が徐々に開口していくことが確認できる。われわれの経験では 1 例の

Fig. 4 Liliequist's membrane and cisterns

- A** : A cadaveric inter-peduncular cistern. Dien. L. : diencephalic leaf of Liliequist's membrane, Mes. L. : mesencephalic leaf of Liliequist's membrane, diencephalic- mesencephalic leaf, Bas. A : basilar artery, P. C. A. : posterior cerebral artery, S. C. A. : Superior cerebellar artery, Chiasm. Cist. : chiasmatic cistern, Sylv. cist. : sylvian cistern, Ambient Cist. : ambient cistern, Infund. : infundibulum, CN2 : optic nerve, CNIII : oculomotor nerve, CNIV : trochlear nerve, CN5 : trigeminal nerve (modified from ref. 21)
B : Sagittal CISS MR-image demonstrating the membranous structure before the pons (circle).
C : An endoscopic image of the thickened mesencephalic leaf of Liliequist's membrane.

み Russel の分類したいわゆる forking に相当する例が疑われたが、中脳水道の完全閉塞例は認めていない。

Aqueductoplasty

① 中脳水道の外観

中脳水道は正常成人では約 15 mm 長，幅は 0.5～2.84 mm と報告されている．入口部は正常では背側を底辺とする類三角形を呈するが，水頭症例では卵円形に拡大する．壁に一定のコンプライアンスを有し，心拍動に同期して伸縮する．病的条件下では 6 mm 以上にまで拡張す

Fig. 5 Anatomical variations in a case with myelomeningocele

- A : Slit shaped foramina of Monro.
B : Transverse fold on the narrow floor of the third ventricle.
C : A cadaveric cross section of the third ventricle in a case with myelomeningocele. (modified from the ref. 9)

るとされ，外径 4.5～5.0 mm の脳室鏡が通過する機械的な圧迫に，一定のコンプライアンスを持って耐えられる．Longatti ら⁷⁾は，内視鏡所見を基に中脳水道を adytum, first constriction, ampulla, second constriction, posterior part の 5 分節に分類した (**Fig. 6**)．ここで 2 カ所の狭窄部 (constriction) にあたる部位は上丘，下丘に相当し，この間に位置する crucial tegmental sulcus が膨大部 (ampulla) にあたるとしている．

② 手技と神経路

術前 MRI の矢状断像で中脳水道の傾きを考慮しつつ，モンロー孔と中脳水道入口部を結ぶ線上に穿頭し，脳弓と静脈角および中脳被蓋の損傷を防ぐ．通常成人例では，冠状縫合の前方 3～5 cm，中心線より 1～1.5 cm の部が目安である．中脳水道入口部まで脳室鏡を進め，Fogarty balloon catheter を中脳水道内に挿入してバルーンを拡張させるのが一般的な手技である⁴⁾¹⁶⁾¹⁹⁾ (**Fig. 7**)．ここで硬性鏡使用時は，中脳水道の強い傾斜のためカテーテルが四丘板 (quadrigeminal plate) を貫く危険性があることに留意する²⁰⁾．

EAP の適応となる膜様閉塞は前述の狭窄部に多い．特に second constriction での膜様閉塞はしばしば遭遇する病態で，この際 adytum から ampulla は漏斗型に拡張する¹⁶⁾．Second constriction のレベルで中脳被蓋側では，滑車神経路が上衣組織に近接しており，中脳水道壁への過度の圧迫や熱凝固処置具による損傷を避けるよう注意が必要である．一方 first constriction レベルの被蓋側には，動眼神経核および内側縦束 (medial longitudinal fas-

Fig. 6 Anatomy of the aqueduct

- A : The redline shows the direction of the endoscope and forceps in EAP.
B : Segments of the aqueduct, aa : aditus aqueducti, c1 : first constriction, A : ampulla, c2 : second constriction, pp : posterior part. (modified from ref. 7)
C : Endoscopic view from the orifice into the aqueduct.

ciculus) が位置しており¹⁰⁾, これら神経路, 神経核の損傷を避けなければならない (Fig. 8).

また, 孤立性第四脳室に伴う中脳水道の閉塞も, EAP のよい適応病態と考えられている. ただし報告例の多くは, 単純な EAP では術後閉塞率が高いため, 中脳水道内にステントを留置することを推奨している.

Temporal ventriculostomy

Temporal ventriculostomy は, 側脳室三角部 (trigunum) 付近の占拠性病変や広汎な癒着性病変によって, 側脳室下角 (inferior horn) が孤立して拡大するような水頭症病態で適応となる¹⁹⁾. 病変側の耳介直上に骨窓を設置し, できる限り低い位置から下角にシースおよび内視鏡を挿入する. まず脈絡叢を確認して, ランドマークとすべき脈絡裂 (choroidal fissure) を同定する. 拡大の程度次第で脳室壁は菲薄化していることもあるが, 通常脳槽側の構造は確認できない. ここで前脈絡叢動脈の損傷を避けることが重要である. 通常, 脈絡裂を前方に伸ばした直線を想定して, それよりやや外側の脈絡点 (choroidal point) より前方で脳槽へ向けて穿孔する (Fig. 9). 穿孔部の先を carotid cistern から後方の crural cistern に向かうようにして, 前脈絡叢動脈や他の穿通枝の損傷を回避する. この際, 動眼神経の損傷にも注意を払うべきである¹⁹⁾. この部では髄液のいわゆる pulsatile flow が乏しく, また十分な径の開窓が得られない. そのためステントの設置による術後閉塞への対策が必要とされることもある.

Quadrigenal cistern arachnoid cyst

四丘体槽くも膜嚢胞では, 脳室-脳槽開窓と同時に嚢胞壁を穿破することが求められる. 同病変は上方進展型と前方進展型に大別され, 各型によって有利なアプローチが異なる. 前方進展型では, 第三脳室後方での突出部に開窓して嚢胞壁を穿破するのが容易である. 松果体陥凹部で菲薄化していることも多く, 開窓の指標となる. 一方, 上方進展型では第三脳室後半部側からの開窓での指標に乏しく, むしろ側脳室体部から内側後方に向かって四丘体槽に穿孔するほうが有利である (Fig. 10). この際, 術前 MRI の冠状断像で内大脳静脈 (internal cerebral vein) と脈絡叢の位置を確認しておくことが肝要である. 脈絡叢の内側で後方に向けて穿孔して内視鏡を挿入すると, 内後頭静脈 (internal occipital vein) を穿孔部に近接して確認することがあり, 四丘体槽内での内視鏡操作の際に損傷しないような注意が必要である (Fig. 11). これら深部静脈の保全のため, 側脳室からの穿孔には鈍的操作が推奨される. 十分な四丘体槽への開窓と嚢胞壁の切

Fig. 7 Aqueductoplasty for membranous obstruction at the segment of the second constriction

Fig. 8 Peri-aqueductal neural fibers and nucleus

- A, C: Level of the first constriction. The medial longitudinal fasciculus and oculomotor nucleus are shown close to the aqueduct. (modified from ref. 10)
 B: The trochlear nerve is located close to the aqueduct at the second constriction. (MLF: medial longitudinal fasciculus, III: oculomotor nucleus, IV: trochlear nerve, RN: red nucleus, CP: cerebral peduncle)

離が達成されれば、中脳水道が開口して脳室内髄液路の閉塞が解除される。閉塞解除が不完全と思われる例では ETV が追加されることもある。

なお本嚢胞と類似する病態として mesencephalic

ependymal cyst がある。これは中脳の脳室上衣下における嚢胞性病変であり、第三脳室側からの直接穿孔の適応である。術前 MRI の際、CISS 画像の矢状断面で四丘体槽の位置を確認することが、鑑別に有用である¹⁵⁾ (Fig. 12)。

おわりに

水頭症および関連する嚢胞性疾患に対して、髄液循環路を作成する代表的な脳室鏡手術を提示し、必要な解剖と知識を概説した。水頭症関連疾患では正常構造を留めていない症例があり、術前画像の詳細な検討は必須である。加えて、術中のランドマークとなる解剖構造を把握することが肝要である。これは立体視に難がある内視鏡手術に求められる“visual cue”の獲得にも関連することを付言しておきたい。

本稿の内容は第 32 回日本脳神経外科コンgres 総会 (2012 年 5 月, 横浜) で発表したものです。

本稿に関して申告すべき利益相反はありません。

本文中、一部の日本語訳は関連用語集に見当たらず、直訳したものです。

Fig. 9 Temporal ventriculostomy in a case with a trapped left inferior horn

A, B: Approach route in left temporal ventriculostomy. (A: axial section, B: coronal section)

C: Endoscopic view of the left inferior horn. The red circle, in front of the choroidal point and outside of the choroidal fissure should be perforated.

Fig. 10 Schema for treatment of cysts in the quadrigeminal cistern and midbrain (modified from ref. 15)

Fig. 11 Endoscopic cyst-ventriculostomy in a case with an arachnoid cyst in the quadrigeminal cistern

- A :** T2-weighted MR-image demonstrating a cyst in the quadrigeminal cistern with upper growth.
B : Sagittal CISS MR-image showing the direction of the endoscope.
C : Coronal CISS MR-image showing the direction of the endoscope. The choroid plexus in the right lateral ventricle (large arrow) and internal cerebral vein (small arrow) are demonstrated.
D : Fenestration with forceps into the quadrigeminal cistern.
E : The internal occipital artery was revealed in the quadrigeminal cistern.

文 献

- 1) Anik I, Etus V, Anik Y, Ceylan S: Role of interpeduncular and prepontine cistern cerebrospinal fluid flow measurements in prediction of endoscopic third ventriculostomy success in pediatric triventricular hydrocephalus. *Pediatr Neurosurg* **46**: 344-350, 2010.
- 2) Anik I, Ceylan S, Koc K, Tugasyig M, Sirin G, Gazioglu N, Sam B: Microsurgical and endoscopic anatomy of Liliequist's membrane and the prepontine membranes: cadaveric study and clinical implications. *Acta Neurochir* **153**: 1701-1711, 2011.
- 3) Dinçer A, Kohan S, Ozek MM: Is all "communicating" hydrocephalus really communicating? Prospective study on the value of 3D-constructive interference in steady state sequence at 3 T. *AJNR Am J Neuroradiol* **30**: 1898-1906, 2009.
- 4) Fritsch MJ, Kienke S, Manwaring KH, Mehdorn HM: Endoscopic aqueductoplasty and interventriculostomy for the treatment of isolated fourth ventricle in children. *Neurosurgery* **55**: 372-379, 2004.
- 5) Froelich SC, Abdel Aziz KM, Cohen PD, van Loveren HR, Keller JT: Microsurgical and endoscopic anatomy of Liliequist's membrane: a complex and variable structure of the basal cisterns. *Neurosurgery* **63** (Suppl 1): ONS1-

Fig. 12 Mesencephalic ependymal cyst

- A, B :** Sagittal CISS MR-image before (A) and after (B) operation demonstrate the quadrigeminal cistern beside the cyst.
C : Endoscopic view of the mesencephalic ependymal cyst from the third ventricle.

8; discussion ONS8-9, 2008.

- 6) Fushimi Y, Miki Y, Ueba T, Kanagaki M, Takahashi T, Yamamoto A, Haque TL, Konishi J, Takahashi JA, Hashimoto N, Konishi J: Liliequist membrane: three-dimensional constructive interference in steady state MR imaging. *Radiology* **229**: 360-365, 2003.
- 7) Longatti P, Fiorindi A, Perin A, Martinuzzi A: Endoscopic anatomy of the cerebral aqueduct. *Neurosurgery* **61** (Suppl): 1-6, 2007.
- 8) Lü J, Zhu X: Microsurgical anatomy of the interpeduncular cistern and related arachnoid membranes. *J Neurosurg* **103**: 337-341, 2005.
- 9) McLone DG, Naidich TP: Developmental morphology of the subarachnoid space, brain vasculature, and contiguous structures, and the cause of the Chiari II malformation. *AJNR Am J Neuroradiol* **13**: 463-482, 1992.
- 10) Miller MJ, Mark LP, Ho KC, Haughton VM: Anatomic relationship of the oculomotor nuclear complex and medial longitudinal fasciculus in the midbrain. *AJNR Am J Neuroradiol* **18**: 111-113, 1997.
- 11) Mori H, Oi S, Nonaka Y, Tamogami R, Muroi A: Ventricular anatomy of hydrocephalus associated with myeloschisis and endoscopic third ventriculostomy. *Childs Nerv Syst* **4**: 717-722, 2008.
- 12) 西山健一, 森 宏, 吉村淳一, 田中隆一: 先天性水頭症における髄液路の発達—神経内視鏡所見. *脳* **21** **8**: 42-48, 2005.
- 13) 西山健一, 森 宏, 吉村淳一, 藤井幸彦: Endoscopic third ventriculostomy の合併症とその回避法・対処法—自験 100 例の検討から—. *脳外誌* **7**: 524-532, 2007.
- 14) Nishiyama K, Mori H, Yoshimura J, Fujii Y: Endoscopic fenestration of the third ventricle in the reverse direction. *Childs Nerv Syst* **24**: 507-508, 2008.

- 15) 西山健一, 吉村淳一, 岡本浩一郎, 松澤 等, 藤井幸彦: 手術に役立つ局所画像診断 Mesencephalic ependymal cyst に対する脳室鏡視下手術. 脳外速報 **20**: 538-543, 2010.
- 16) 西山健一, 藤井幸彦: 神経内視鏡下中脳水道形成術. 脳外速報 **22**: 910-916, 2012.
- 17) Oka K, Yamamoto M, Ikeda K, Tomonaga M: Flexible endoneurosurgical therapy for aqueductal stenosis. *Neurosurgery* **33**: 236-243, 1993.
- 18) Schroeder HW, Niendorf WR, Gaab MR: Complications of third ventriculostomy. *J Neurosurg* **96**: 1032-1040, 2002.
- 19) Schroeder HWS, Oertel J, Gaab MR: Endoscopic treatment of cerebrospinal fluid pathway obstructions. *Neurosurgery* **60** (ONS Suppl 1) ONS-44-52, 2007.
- 20) Schulz M, Goelz L, Spors B, Haberl H, Thomale UW: Endoscopic treatment of isolated fourth ventricle: clinical and radiological outcome. *Neurosurgery* **70**: 847-859, 2012.
- 21) Sufianov AA, Sufianova GZ, Iakimov IA: Microsurgical study of the interpeduncular cistern and its communication with adjoining cisterns. *Childs Nerv Syst* **25**: 301-308, 2009.

要 旨

水頭症の内視鏡手術に必要な解剖と知識

西山 健一 藤井 幸彦

本稿では、水頭症および関連する嚢胞性疾患に対して髄液路を作成する脳室鏡手術を提示し、必要な解剖と知識を概説した。ここで術式は“脳室-脳槽短絡術”と“脳室内閉塞機転の解除”に大別される。鏡視下で目印となる脳室内構造の把握に加えて、前者では脳槽の構築と内部血管の、後者では脳室壁直下の神経路と神経核の理解が必須である。“Third ventriculostomy”では、両側乳頭体と漏斗陥凹とを結ぶ三角形の中心を目印に、脳底動脈および同頂部から中脳に向かう動脈群の損傷を避けて、脚間槽に穿孔する。この際、脚間槽を縁取る二葉の Lilliequist's membrane の確認が重要である。“Temporal ventriculostomy”では脈絡裂の仮想延長線を目印に、前脈絡動脈の損傷を避けるように carotid cistern の後方から crural cistern に穿孔する。“Aqueductoplasty”では、動眼神経核、内側縦束、滑車神経路の損傷を避ける。なお、水頭症関連疾患では正常構造を留めていない症例があり、術前画像の詳細な検討が肝要である。

脳外誌 **22**: 349-356, 2013